

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE  
COMPUTAÇÃO

EA640 U - ELETRÔNICA BÁSICA II

# Simulação de um Amplificador Diferencial com Carga Ativa e Espelho de Corrente

**Aluno:**

*Breno Levi Correa - RA 145453*

*Karla Carmen Darlene Bautista Luna - RA 149457*

*Lídia Guimarães Gusmão - RA 172323*

*Pedro Luiz Paulucci Carnieto - RA 175869*

**Professor:**

*Leandro Tiago Manera*

# 1 Projeto do circuito de dois estágios

Utilizando o RA de maior valor no grupo 175869, no qual temos, para o formato abcdef,  $a = 1$ ,  $b = 7$ ,  $c = 5$ ,  $d = 8$ ,  $e = 6$ ,  $f = 9$ , foi projetado um circuito de dois estágios separado em três partes: **fonte de corrente**, **carga ativa** e **estágio de entrada**. O esquemático do circuito foi feito no *software* PSpice de acordo com a imagem mostrada na Figura 1.

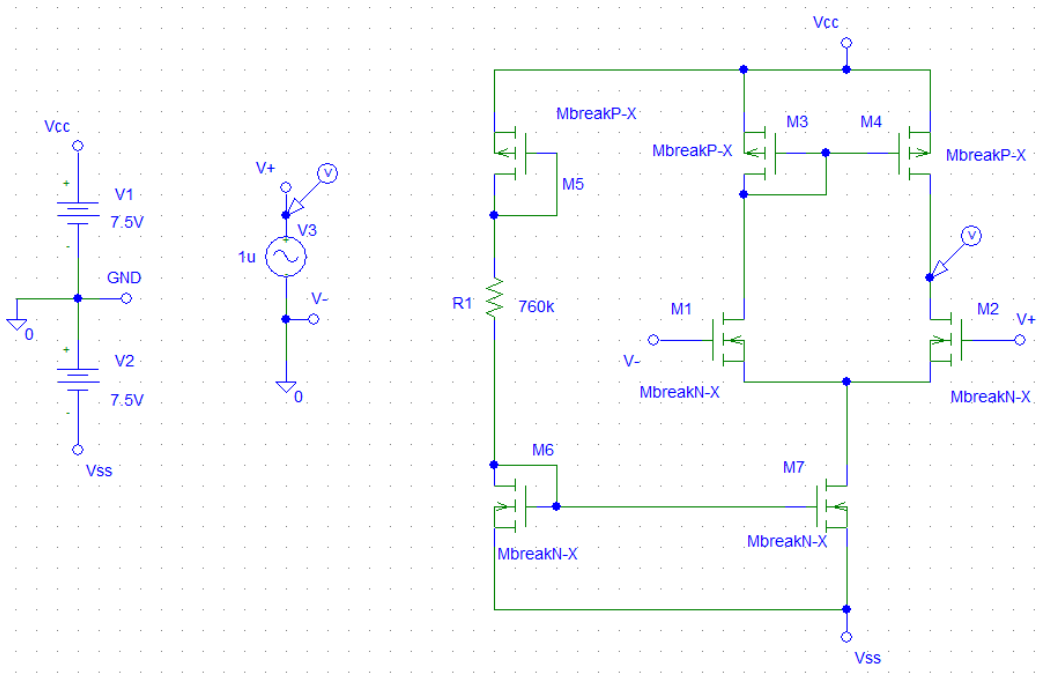


Figura 1: Circuito de dois estágios analisado.

## 2 Identificação das partes do circuito

### 2.1 Cálculo da resistência R1

Primeiramente calculou-se a resistência do primeiro estágio considerando que a corrente de referência,  $I_{REF}$  fosse  $I_{REF} = 10\mu A + ef \cdot 10^{-7} = 16,9\mu A$ .

A expressão mostrada na Equação 1 diz respeito às relações entre a corrente de dreno ( $I_D$ ), tensão entre porta e fonte ( $V_{GS}$ ), tensão  $V_{th}$  com as dimensões do transistor ( $W$  e  $L$ ) e a constante  $k_n$ .

$$I_D = \frac{1}{2}k'_n \frac{W}{L}(V_{GS} - V_T)^2 \quad (1)$$

Nela, consideraremos um  $W$  da ordem de 10 vezes a dimensão de  $L$ . Portanto, temos todos os valores para a equação anterior, restando apenas determinar  $V_{GS}$ ,

$$I_D = 16,9\mu A$$

$$kn' = 0.01\mu$$

$$\frac{W}{L} = 10$$

$$V_{th} = 0.5V$$

Com a substituição dos valores na Equação 1, obtemos o valor de  $V_{GS}$  a seguir.

$$V_{GS} = 1,08V$$

Como este  $V_{GS}$  é simétrico para os dois transistores do ramo esquerdo, podemos escrever a equação abaixo, que exprime a tensão no resistor  $R1$ .

$$U_{R1} = V_{CC} - V_{SS} - 2V_{GS}$$

$$U_{R1} = 7,5 + 7,5 - 2 \cdot 1,08$$

$$U_{R1} = 12,84V$$

Desta forma, como já sabemos a corrente que passa pelo resistor (igual à  $I_{REF}$ ), teremos o valor de  $R1$  dado pela relação entre tensão e corrente mostrada a seguir.

$$R1 = \frac{U_{R1}}{I_{REF}} = 760k\Omega$$

### 2.2 Dimensionamento do primeiro estágio

O ganho desejado para o circuito, de acordo com os valores de RA pedido no enunciado é de:

$$A_v = 100 + cd = 100 + 58 = 158$$

Dado que o ganho deste amplificador pode ser escrito como a seguir, sendo  $g_m$  é a transcondutância e  $R_o$  é a resistência de saída, que é representada pelas resistências internas  $r_o$ , devido ao efeito Early, de M3 e M4.

$$A_v = g_m R_o$$

E supondo que M3 e M4 são iguais, temos que:

$$R_o = r_{o2} // r_{o4} = r_o / 2$$

Sendo assim, calculamos o valor de  $r_o$  como a seguir.

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_D} = \frac{1}{0,01 \cdot 16,9\mu / 2} = 11,83 M\Omega$$

Sendo assim, obtemos finalmente o valor da resistência de saída  $R_o$ , que é o paralelo de dois  $r_o$  iguais.

$$R_o = \frac{r_o}{2} = 5,92 M\Omega$$

Portanto, basta agora determinar o valor de  $g_m$  para obtermos o  $A_v$  desejado.

$$g_m = \frac{A_v}{R_o} = \frac{158}{5,92 M\Omega} = 2.669 \cdot 10^{-5} A/V$$

Note também que  $g_m$  equivale a:

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{I_{REF}}{V_{OV}}$$

Como já temos  $I_{REF}$  e o  $g_m$  desejado para obter o ganho de 158 V/V, agora precisamos apenas impor o valor de  $V_{OV}$ .

$$V_{OV} = \frac{I_{REF}}{g_m} = \frac{16,9\mu}{26,69\mu} = 0,633V$$

Finalmente, iremos ajustar este  $V_{OV}$  pela Equação 1. Como  $V_{OV} = V_{GS} - V_{th}$ , podemos reescrever a expressão de  $I_D$  da seguinte forma.

$$I_D = \frac{1}{2} k'_n \frac{W}{L} V_{OV}^2$$

Note que temos todos os valores acima (com  $I_D = \frac{I_{REF}}{2}$ ). Sendo assim, calculamos  $W$  dos quatro transistores que compõem a carga ativa e o espelho de corrente. Reescrevendo, temos a expressão a seguir com o respectivo valor de  $W$ .

$$W = \frac{2I_D L}{k'_n V_{OV}^2} = \frac{I_{REF} L}{k'_n V_{OV}^2} = \frac{16,9\mu \cdot 1\mu}{10\mu \cdot 0,633^2} = 4,22\mu m$$

Portanto, para impor o ganho desejado de  $A_v = 158$  V/V, basta escolher os 4 transistores MOS da carga ativa e do espelho de corrente com parâmetro  $W = 4,22\mu m$ .

### 3 Simulação no PSpice

A simulação em Pspice foi feita para o circuito estudado, com as dimensões dos componentes calculadas, como mostrado na Figura 2.

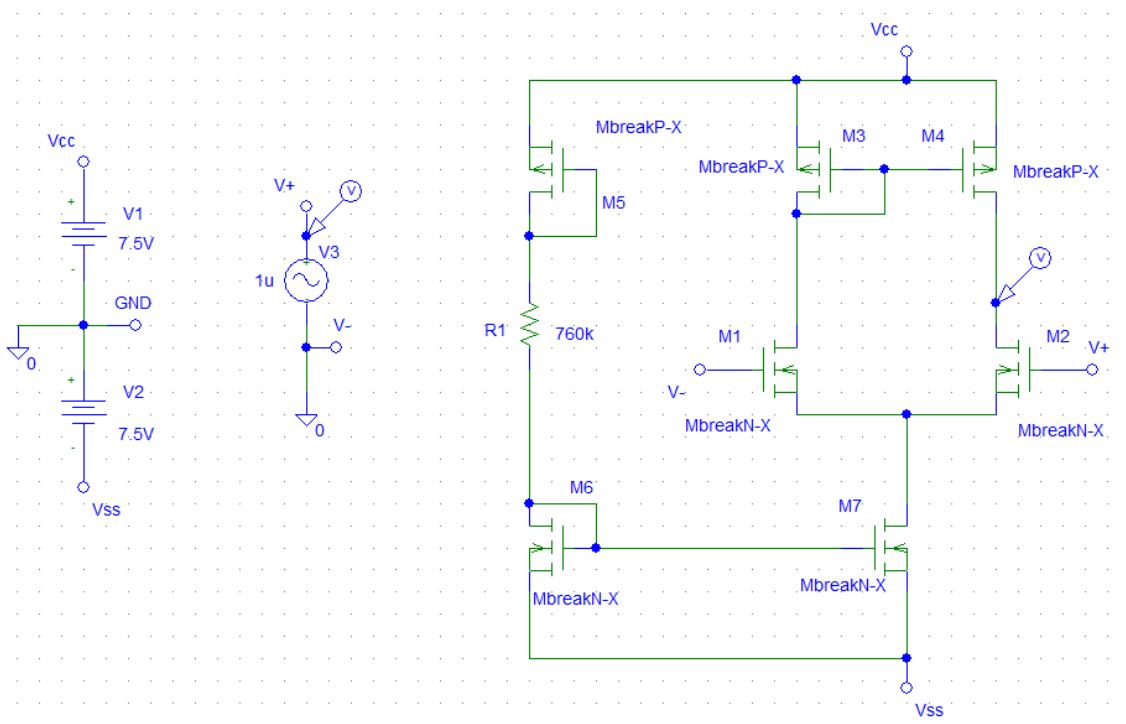


Figura 2: Circuito do exercício simulado em Pspice.

A simulação, com os parâmetros correntes, nos permitiu obter os seguintes valores de tensão e corrente mostrados na Figura 3.

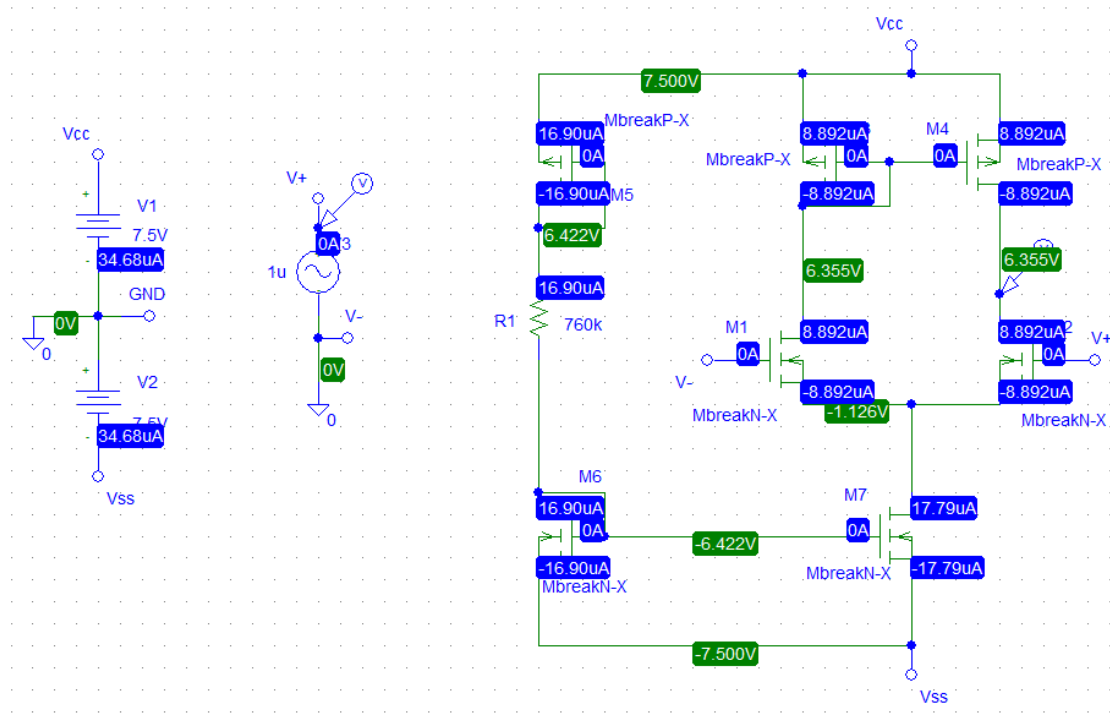


Figura 3: Circuito simulado com os valores de corrente (em azul) e de tensão (em verde).

As mudanças dos parâmetros dos transistores foram feitas segundo mostrado na Figura 4, em “Edit Pspice Model”.

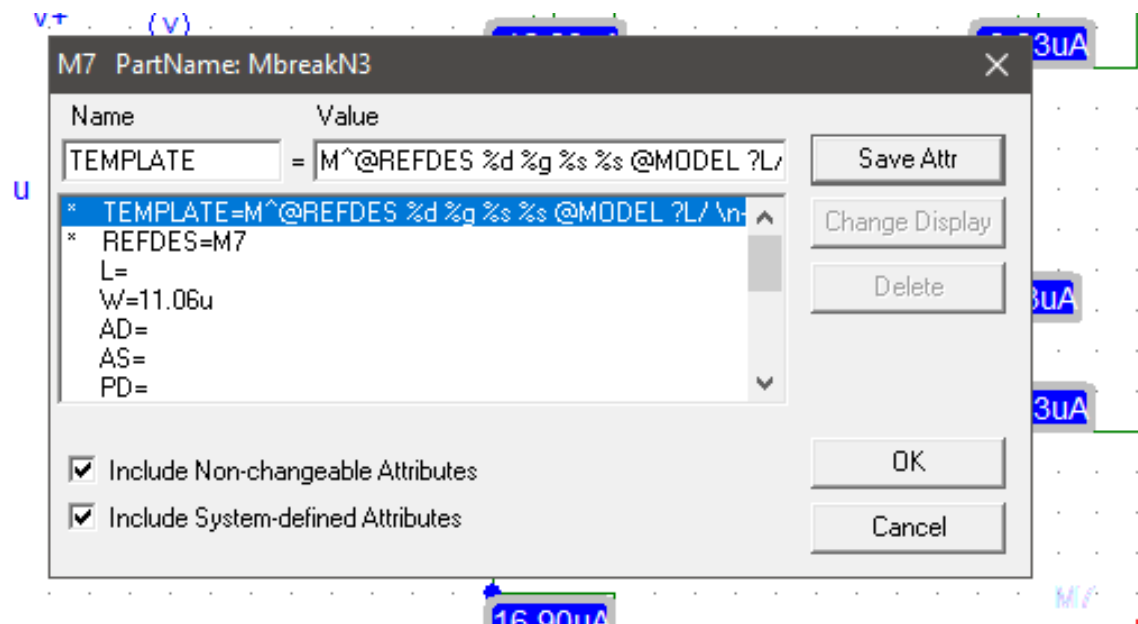


Figura 4: Mudança dos parâmetros do transistor Mbreak segundo dados do enunciado.

Finalmente, os resultados obtidos para o ganho na simulação são mostrados na Figura 5 para o valor de  $W = 10\mu m$  estimado no início. Na Figura 6 é mostrada a simulação que nos fornece o ganho desejado ( $158V/V$ ) através da mudança de  $W$  de M7 para  $W = 11,06\mu m$ .

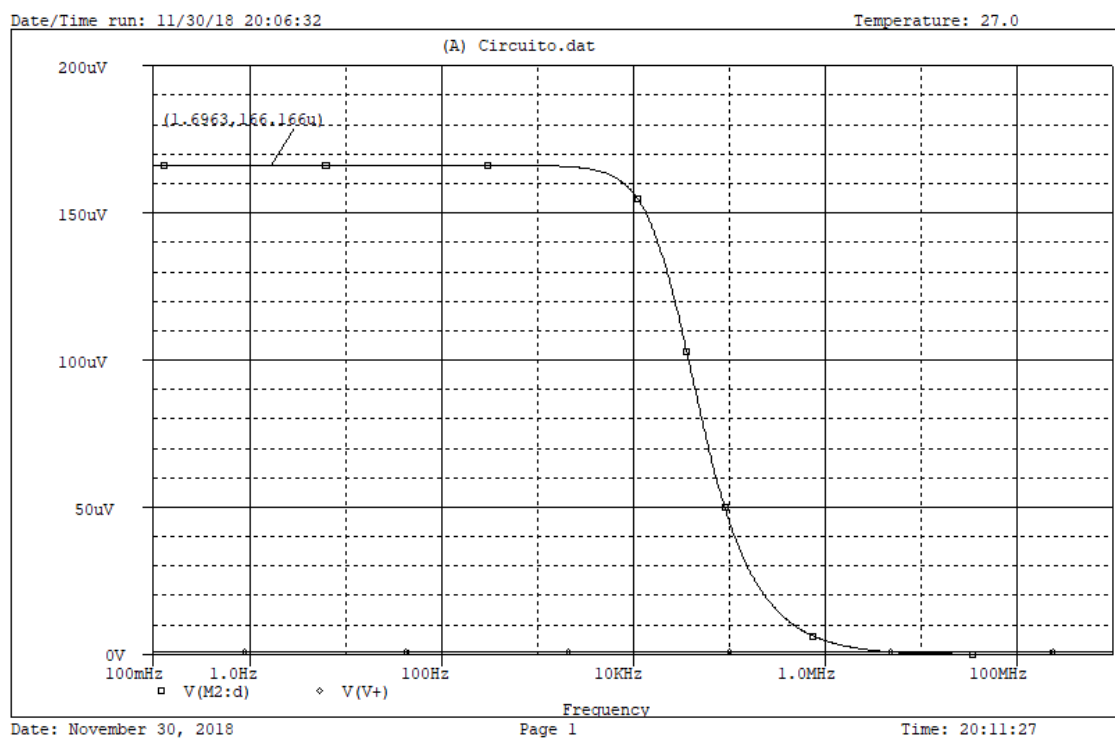


Figura 5: Mudança dos parâmetros do transistor Mbreak segundo dados do enunciado.

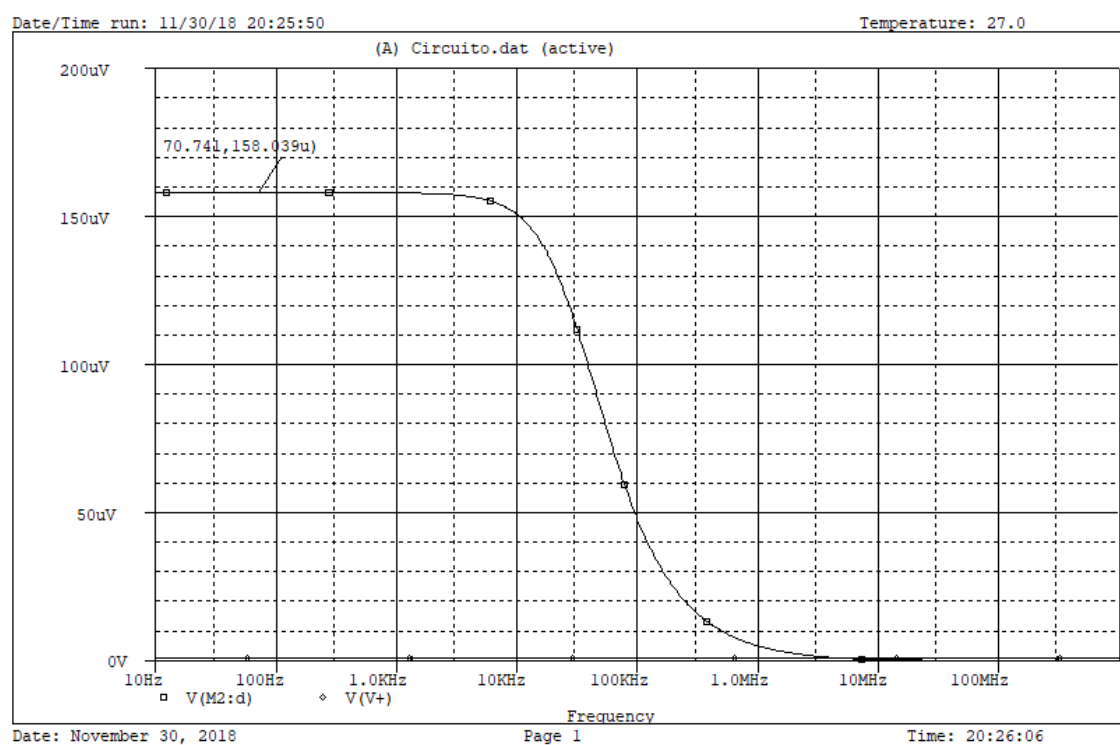


Figura 6: Mudança dos parâmetros do transistor Mbreak segundo dados do enunciado.